

S P R E N G E R I N S T I T U U T
Haagsteeg 6, 6708 PM Wageningen
Tel.: 08370-19013

De inhoud van dit rapport mag t.o.v. derden uitsluitend
gebruikt worden na schriftelijke toestemming van de directeur
van het Sprenger Instituut.

RAPPORT NO. 497 (DIENSTGEHEIM)

Ir. G.H. van Nieuwenhuizen,
H.A.M. Boerrigter en H.J. van Laar

ONDERZOEK NAAR DE TECHNISCHE
EIGENSCHAPPEN VAN DE FRESHBOX KOEL-
CONTAINER VAN DISSELKOEN B.V.

Uitgebracht aan Disselkoen B.V.
Order no. 296

1. INLEIDING

Op verzoek van Disselkoen B.V. is in de periode februari-maart 1986 onderzoek uitgevoerd aan een Freshbox, een gekoelde container ingericht voor handhaving van een Controlled Atmosphere (C.A.). Dit betekent, dat deze container is uitgerust om naast de temperatuur ook de luchtsamenstelling te handhaven op de gewenste en ingestelde waarden. Door middel van stikstofinspuiting wordt de zuurstofconcentratie op de ingestelde waarde gebracht. Bovendien kan de kooldioxideconcentratie worden verhoogd door een menggasregeling. Voor de aanvang van het transport kunnen temperatuur, zuurstofconcentratie en kooldioxideconcentratie worden ingesteld op de waarde, die de langste houdbaarheid voor het produkt geeft. Met een dergelijke klimaatregeling (inclusief CA) zouden markten op grotere afstand kunnen worden bereikt of markten op kortere afstanden met een betere kwaliteit worden bediend. In het bijzonder zou een dergelijke container mogelijkheden bieden om kort houdbare produkten zoals b.v. paprika en tomaten naar markten te vervoeren, die tot nu toe alleen met luchtvervoer te bereiken zijn, zoals de Verenigde Staten, of het Midden Oosten. De techniek van de CA-bewaring is bekend en wordt voor een aantal produkten, met name hard fruit en een aantal koolsoorten in stationaire koelruimten veelvuldig toegepast. Ook bestaan er toepassingen, waarbij een afwijkende luchtsamenstelling in verpakkingen wordt gecreëerd door de toepassing van speciale foliën. Voertuigen met een regelbare luchtsamenstelling zijn echter tot nu toe nog geen succes gebleken. Toch zijn regelmatig dergelijke voertuigen ontwikkeld, en op beperkte schaal ook wel toegepast. Voorbeelden zijn de containers van Food Source Inc., Grummen Dormavac Inc., 3 F Kühlsystem Salzburg, Nhy temp. De Transfresh Co Salinas, Ca. U.S.A. werkt met een éénmalige gasvulling van een bepaalde samenstelling. Dit bedrijf vult op verzoek van de verlader een container met een gekozen luchtsamenstelling ter verlenging van de houdbaarheid. Dit Amerikaanse systeem bestaat al jaren.

De problematiek van CA-containers is drieledig nl.:

- het technisch functioneren van de container
- het kwaliteitsvoordeel of de vermindering van het kwaliteitsverlies
- het financieel economische resultaat.

De te hoog gespannen kwaliteitsverwachtingen zijn waarschijnlijk de voornaamste redenen, dat de technische problemen van de CA-container niet zijn opgelost. Dit is ook in dit geval de aanleiding voor het onderzoek geweest. De resultaten van een aantal bewaarproeven of transportsimulaties voldeden niet aan de verwachtingen en bovendien bleek, dat het technische functioneren te wensen overliet. Met name het stikstofverbruik van de container bleek veel hoger dan verwacht en uit de specificaties naar voren kwam.

Het doel van het onderzoek betreft uitsluitend de beoordeling van het technische functioneren van de container.

Hiertoe worden een aantal technische gegevens gemeten, zoals de luchtlekkage en het stikstofverbruik, welke kunnen worden getoetst aan de opgegeven specificaties.

Op basis van de metingen en de constructieprincipes wordt een oordeel gevormd over de werking en de nauwkeurigheid van het temperatuur- en gasregelsysteem (= CA-systeem).

2. BESCHRIJVING VAN DE FRESHBOX CONTAINER

Leverancier: Fresh box, Enschede

Componenten: geïsoleerde container
koelmachine
gasregelsysteem of CA-systeem

Handleiding/beschrijving: The unique refrigerated container with dual gas controlled atmosphere.

General specification of a Freshbox container

Container specificaties:

Fabrikaat	: Thijssen A.G., B.R.D.
Serienummer	: IAA 285 K5795
Uitwendige afmetingen L-B-H	: 12,19-2,44-2,59 m
Inwendige afmetingen L-B-H	: 11,52-2,27-2,17 m netto 1)2)
Inwendige afmetingen L-B-H	: 11,64-2,28-2,17 m bruto
Afmetingen van CA-compartiment	: L-B-H: 1,87-1-1,9 m
Gewicht excl. klimaatinstallaties	: 5250 kg
Isolatiewaarde (opgegeven)	: 41,8 W/K
Luchtlekkage (opgegeven)	: 6 m ³ /h bij 250 Pa
Wanden en deuren inwendig	: geprofileerd roestvrij staal;
Plafond	: vlak roestvrij staal
Vloer	: Aluminium T profiel 60 mm
Uitwendige bekleding	: roestvrij staal
Isolatiemateriaal	: PU-schuim
Gemiddelde oppervlakte	: $\sqrt{S_1 \times S_u} = 125 \text{ m}^2$
Volume lucht	: 56 m ³

1) inclusief CA compartiment

2) in afwijking met manual

Koelmachinespecificaties:

Fabrikaat	: Carrier Transicold
Model	: 69 NT 40 234-1 1)
Serienummer	: F 84052960
Koelvermogen -17°C/38°C	: 4700 W bij 60 Hz
+1,7°C/38°C	: 8500 W
Luchtcirculatie gemeten	: ca. 4.000 m ³ /h bij 50 Hz
Luchtrichting	: vloer naar plafond (bottom flow)
Temperatuurregeling	: zuigdrukregeling op inblaaslucht
Ventilatie	: 0-100 m ³ /h

Specificaties CA-systeem:

Stikstoftank en gasmengsysteem : Messer Griesheim
Zuurstofmeter/regelaar
(polarografische meetmethode) : Beckman model 7005
Inhoud stikstoftank : 636 l (600 l Messer Gr.)
CO₂-toevoer : gasflessen
Stikstoftank voldoende bij transporttijd : 30 dagen ²⁾
Maximum stikstofdebiet : 22 m³/h ²⁾; 12 m³/h ³⁾
Vermogen stikstofverwarming : 800 W ³⁾
CO₂-instelling : draaiknop 0-6%
O₂-instelling : 0-9,9%
Isolatieverliezen van N₂-tank (stikstof) : 0,21 m³/h ³⁾

- 1) in het manual is een ander type koelmachine van Ctr. aangegeven
2) volgens manual volgens Freshbox
3) gegevens Messer Griesheim

Opmerking:

De handleiding bevat diverse onjuistheden en is onvolledig in de instructie betreffende de instellingen b.v. instelling van onder- en bovengrens van de zuurstofregelaar en van het waterniveau.

De handleiding stelt, dat een vochtigheidspercentage kan worden gehandhaafd tussen in te stellen grenzen.

De container zou voorzien zijn van "door de douane goedgekeurde overdrukklep-pen". Deze zijn niet aanwezig.

3. BIEKNOPT OVERZICHT VAN DE STATIONAIRE WAARNEMINGEN DOOR DISSELKOEN B.V.

Bij Disselkoen B.V. zijn een aantal waarnemingen verricht die zijn vastgelegd in Rapportnr. 460a 05.'85 van Advies en Controlebureau Harmsen & de Groot B.V. Zie tabel 1.

Tabel 1: Overzicht van enkele waarnemingen van Disselkoen B.V. aan geladen Freshbox container

begin/einddatum	O ₂ %	CO ₂ %	Temp.	Produkt	Verbruik l N ₂
22-5/ 6-6-1986	2-4	0	9°C	5000 kg tomaten	1200 l
13-6/24-6-1985	7-9	1	10°C	10000 kg paprika	550 l
9-7/22-7-1985	2-4	0	9°C		?
30-7/12-8-1985	7-9	3	10°C		?

Op deze resultaten wordt nader teruggekomen.

4. UITVOERING EN RESULTATEN

4.1 Luchtlekkage met over/onderdruktest

Een eenvoudige en snelle methode om de luchtlekkage van een voertuig vast te stellen is de overdrukmethode (IOSO 1496-2). Deze meting bestaat uit het inblazen van lucht in de container met behulp van een ventilator en vervolgens het meten van het ingeblazen luchtdebiet met de bijbehorende drukverhoging in de container.

Deze methode geeft een indicatie van de lekkage of lekdichtheid, welke refereert naar diverse standaarden en normen. De methode geeft echter niet de actuele lekkage weer tijdens bedrijf (men weet immers niet de plaats van de lekkage noch de plaatselijke druk) maar geeft wel aan of de container voldoet aan de specificatie. Eenzelfde werkwijze kan ook met zuigende ventilator bij onderdruk in de container worden toegepast. Deze werkwijze is niet gestandaardiseerd maar sluit beter aan op de bedrijfsomstandigheden.

De resultaten van een dergelijke meting zijn vermeld in tabel 2.

Tabel 2: Resultaten van de lekmeting van de container door middel van de onderdrukmethode (drukmeting in de container)

meting		druk (t.o.v. omgeving)	debiet	opmerking
feb. 1986	1	-36 Pa	-5,7 m ³ /h	unit uit
	2	-16	-3,2	
	3	- 5	-1,3	
	4	-48	-3,8	unit aan 1)
	5	-35	-2,2	" 1)
	6	-27	-0,9	" 1)
	7	-20	0	"
april 1986	8	- 9	-7	unit uit
	9	- 5	-5	"
	10	- 3,5	-3,8	"
	11	-31,5	-4,6	unit aan 1)
	12	-24	-1,3	" 1)
	13	-40	-8,8	" 2)
	14	-38	-7,8	" 2)
	15	-30	-2,8	" 2)
	16	-25	0	" 2)

1) lekmeter aangesloten op zuigzijde van de container

2) lekmeter aangesloten op perszijde van de container

Het drukverschil over de circulatieventilator bedraagt 170 Pa

De karakteristieken voor de luchtlekkage volgens de onderdrukmethode zijn gepresenteerd in figuur 1A. Opgenomen zijn uitsluitend de waarden met uitgeschakelde koelmachine. In deze figuur zijn tevens een aantal maximale waarden van de luchtlekkage uitgezet, die gegeven worden door diverse organisaties.

Hieruit blijkt dat de container bij eerste meting nog juist binnen de TTMA norm blijft en waarschijnlijk aan de oude ISO norm voldoet. Aan de hogere ABS en herziene ISO norm wordt niet voldaan. De gespecificeerde waarde van 6 m³/h bij 250

Pa wordt in februari met 375% (= 22,5 m³/h) overschreden en in april met 825% (= 49,5 m³/h), zoals uit extrapolatie van de metingen blijkt. Dergelijke extrapolaties leiden in principe tot lekkages, die eerder lager zijn, dan de werkelijkheid, dan hoger.

Indien tevens de lekkage met ingeschakelde koelmachine wordt beschouwd, kan een idee verkregen worden van de luchtlekage onder operationele omstandigheden van de koelmachine. Uit het feit, dat de druk in de container bij ingeschakelde koelmachine negatief is, kan worden vastgesteld, dat een belangrijke lekopening stroomopwaarts (gezien vanuit het laadruim, aan de perszijde van de ventilator) zit. Een analyse leidt tot de lekstromen overeenkomstig in tabel 3 voor de eerste meetserie in februari. Deze analyse is gebaseerd op de aanname dat een lekopening aanwezig is aan de perszijde in het luchtcircuit (d.w.z. in de lucht-richting voorbij ventilator resp. koeler en voor intrede in de container). Indien een statische druk op deze plaats wordt aangenomen, die 40 Pa hoger is dan in de container kan een sluitende redenatie worden opgebouwd (zie tabel 1 en fig. 1B). Dezelfde analyse is in tabel 4, voor de tweede meetserie uitgevoerd.

Tabel 3: Analyse van de luchtlekage in 4 situaties in eerste meetserie.
Veronderstellingen: turbulente stroming; lekopeningen in container en 40 Pa stroomopwaarts

Situatie	Opmerkingen
1. Onderdruktest stel ϕ ctr = -1,8 m ³ /h bij -20 Pa stel ϕ pers = -1,8 m ³ /h bij -20 Pa totaal netto ϕ lek = -1,8 -1,8 = -3,6 m ³ /h	unit uit (tabel 2) interpolatie meting 1 en 2: -3,6 m ³ /h
2. Unit aan druk in container -20 Pa ϕ ctr = -1,8 m ³ /h bij -20 Pa totaal netto ϕ lek = -1,8 + 1,8 = 0 ϕ pers = + 1,8 m ³ /h bij +20 Pa	meting 7 feb. 2 ctr. vgl. situatie 1 vgl. meting 7 (gevolg van veronderstellingen)
3. Unit aan + onderdruktest ϕ ctr = -1,8 . $\sqrt{48/20}$ = -2,8 m ³ /h bij -48 Pa ϕ pers = -1,8 . $\sqrt{8/20}$ = -1,1 m ³ /h bij -8 Pa totaal netto ϕ lek = -2,8 -1,1 = -3,9 m ³ /h	vgl. meting 4: 3,8 m ³ /h
4. Unit aan + onderdruktest ϕ ctr = -1,8 . $\sqrt{35/20}$ = -2,4 m ³ /h bij -35 Pa ϕ pers = -2,8 . $\sqrt{5/20}$ = +0,9 m ³ /h bij +5 Pa totaal netto ϕ lek = -2,4 m ³ /h +0,9 = -1,5 m ³ /h	vgl. meting 5: -2,2 m ³ /h

Tabel 4: Analyse van de luchtlekkage in 4 situaties in de tweede meetserie (ϕ lek)

Veronderstellingen: turbulente stroming; lekopeningen in container en 40 Pa stroomopwaarts

Situatie	Opmerkingen
1. Onderdruktest stel ϕ ctr = $-6 \text{ m}^3/\text{h}$ bij -20 Pa stel ϕ pers = $-5 \text{ m}^3/\text{h}$ bij -20 Pa totaal ϕ lek = $-6 + -5 = -11 \text{ m}^3/\text{h}$	extrapolatie meting 8/9: $-11,2 \text{ m}^3/\text{h}$
2. Unit aan ϕ ctr = $-6 \text{ m}^3/\text{h}$ bij -20 Pa ϕ pers = $+5 \text{ m}^3/\text{h}$ bij $+20 \text{ Pa}$ totaal ϕ lek = $-6 + 5 = -1 \text{ m}^3/\text{h}$	vgl. meting 16: $0 \text{ m}^3/\text{h}$ -25 Pa
3. Unit aan + onderdruktest ϕ ctr. = $-6 \cdot \sqrt{40/20} = -8,5 \text{ m}^3/\text{h}$ bij -40 Pa ϕ pers = 0 bij 0 Pa totaal ϕ lek = $-8,5 + 0 = -8,5$	meting 13: $-8,8 \text{ m}^3/\text{h}$
4. Unit aan + onderdruktest ϕ ctr = $-6 \cdot \sqrt{31,5/20} = -7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ bij $-31,5 \text{ Pa}$ ϕ pers = $+5 \cdot \sqrt{8,5/20} = 3,2 \text{ m}^3/\text{h}$ bij $+8,5 \text{ Pa}$ totaal ϕ lek = $-7,5 + 3,2 = -4,3$	vgl. meting 11: $-4,6 \text{ m}^3/\text{h}$

Uit de analyses in tabel 3 en 4 blijkt, dat de lekkage op een drukniveau van 20 à 25 Pa met ingeschakelde koelmachine in februari ca. $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ bedroeg en in april was vergroot tot ca. $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Uit de analyse blijkt, dat vooral de lekkage aan de perszijde is toegenomen in de tijd. Dit wordt bevestigd door de druktoename in de container (tabel 2 meting 16 versus 7).

4.2 Luchtlekkage door tracergasmetingen

Een tweede methode om de luchtlekkage te bepalen is de zogenaamde tracergasmethode. Door insputting van een gas en gevolgd door de meting van de concentratie-afname in de tijd kan onder bedrijfsomstandigheden de luchtlekkage worden gemeten. Dit gebeurt met de volgende berekening:

ϕ lek = $(V/(t-t_0)) \ln C_0/C$
 waarin ϕ lek = intrede debiet [m^3/h]
 V = volume = 56 [m^3]
 $t-t_0$ = tijdsduur van C_0 naar C [h]
 C_0 = beginconcentratie -
 C = concentratie na $t-t_0$

In de meeste gevallen is gebruik gemaakt van ethyleen als traceergas. Enkele malen zijn de metingen bevestigd met gelijksoortige metingen met de zuurstof- of kooldioxideconcentraties. Met de lekkage wordt steeds de totale ingaande lek-luchtstroom bedoeld.

In tabel 5 is een overzicht van enkele resultaten gegeven.

Tabel 5: De luchtlekkage (= totale ingaande gasdebiet) onder diverse omstandigheden bepaald uit de gasconcentraties

meting datum	conc. start	conc. einde	tijdsduur h	lekkage m^3/h	omstandigheden
<u>ethyleenmetingen</u>					
30-1	14,3	6,1	21,5	2,2	1) unit aan
6-3	17,4	8,0	6	7,3*	2) unit en CA aan
6-3	6,5	1,9	18,6	3,7	3) unit aan; CA uit
7-3	11,2	3	21,5	3,4	4) unit aan; continu
20-3	15,6	11,4	97,5	0,2	5) unit uit; CA aan
<u>O₂/CO₂-metingen</u>					
6-3	6,6	16,1	16	3,8	3) zie ook boven 6/3
2-4	2,8	17,5	12	7,9	3) unit aan; geen N ₂
2-4	2,27	1	6	7,6	3) idem met CO ₂
1-4	2,5	2,5	-	12,8*	5) unit aan, N ₂ -injectie

* lekstroom + stikstofdebiet

- 1) unit aan, temperatuur constant 20°C, geen CA, koelmachine schakelt
- 2) unit aan, temperatuur 1°C, 44% van de tijd N₂-injectie
- 3) unit aan, temperatuur 1°C; compressor schakelt; geen N₂
- 4) unit aan, temperatuur 1°C; compressor draait continu; geen N₂
- 5) stationaire CO₂-inspuiting 0,32 m^3/h bij 2,5%

De eerste meting (van 30-1) met als resultaat 2,2 m^3/h komt goed overeen met het resultaat uit de analyse van overdrukmethod (paragraaf 4.1) nl. 1,8 m^3/h . Uit de metingen (zie tabel 5 meting 6-3) blijkt, dat de lekkage in de tijd is toegenomen van 2,2 naar 3,7 m^3/h .

De meting van 7-3, waarbij de temperatuurregeling continu werkt door een extra warmtebelasting, levert een lekkage van 3,4 m^3/h . De lek met een continu lopende compressor is dus geringer dan met een schakelende compressor. De metingen van 2-4 tenslotte geven een verdere toename van de lekkage tot 7,9 m^3/h en 7,6 m^3/h .

Deze resultaten bevestigen de metingen in paragraaf 4.1 tweede meetserie, die een luchtdebiet van ca. $6 \text{ m}^3/\text{h}$ gaven.

Verondersteld wordt, dat de vergroting van de luchtlekkage in de tijd wordt veroorzaakt door:

- verdamping van water in waterafvoerslangen (waterslot?) van de drainpan onder de luchtkoeler.
- verhoging van lek langs de bevestiging van de zuurstofsensor.
- vergroting van lek in het algemeen langs deurafdichtingen, doorvoeringen en afsluitingen van vloerdrains.

4.3 Temperatuurregeling

De in- en uitgaande luchttemperaturen zijn geregistreerd om een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid van het systeem en van de grootte van de temperatuurf fluctuaties. Onder normale condities met een instelling van de regelaar op 1°C en een omgevingstemperatuur van ca. 20°C bleef de compressor schakelen met een cyclustijd van 12 à 15 min. Door inschakeling van een extra warmtebelasting van 2000 W kon continu regeling worden bereikt. Een overzicht van de resultaten is samengevat in tabel 6.

Tabel 6: De luchttemperatuur aan de intrede ende uitrede van de container (instelling 1°C)

meting	intrede luchttemp. min./max. ($^\circ\text{C}$)	uitrede luchttemp. min./max. ($^\circ\text{C}$)	cyclus tij (max.)	opmerking
7-3	1,0/1,2	2,6/3	-	2000 W
2-4	-0,1/1,6	0,3/1,3	12	met N_2
2-4	0,2/1,8	0,7/1,8	15	geen N_2

5.4 De regeling van de zuurstofconcentratie en het stikstofverbruik

De gewenste zuurstofconcentratie kan op de Beckman aan/uit regelaar worden ingesteld. Zolang de regelaar constateert, dat de ingestelde waarde nog niet is bereikt blijft de verwarming in de stikstoftank ingeschakeld, waardoor stikstof verdampt en in de container stroomt. Alleen de niveauschakelaar en de maximaal thermostaat van het verwarmingselement kunnen hierop ingrijpen om het element te beveiligen. Zodra de ingestelde ondergrens is bereikt wordt het element uitgeschakeld. Stijgt de zuurstofconcentratie nu boven de ingestelde bovengrens, dan wordt het verwarmingselement weer ingeschakeld. De "warmtetoevoer" in de tank doet de stikstof verdampen, zodat alleen gas in de container wordt geblazen. Indien de zuurstofconcentratie te laag zou worden doordat het produkt zuurstof opneemt, dan zou een luchtklep dienen te worden geopend. Deze klep is niet aangebracht, wellicht omdat de lekkage hoog genoeg bleek of omdat men hier niet aan heeft gedacht.

Driemaal is de stikstoftank gevuld en geheel of ten dele onder proefomstandigheden leeggespoten in de container. Iedere keer zijn onvoorziene omstandigheden en storingen opgetreden, desalniettemin kon een analyse van de werking worden gemaakt met de invloed van de diverse parameters. Een zogenaamde duurproef, waar-

bij het zuurstofpercentage gedurende een ononderbroken periode op een gewenste waarde kon worden geregeld, is echter niet gelukt.

In tabel 7 is een chronologisch overzicht gegeven van het stikstofverbruik onder diverse omstandigheden.

Tabel 7: Een overzicht van het stikstofverbruik en van de beschikbare stikstof per tankinhoud

datum start	eind	duur h	debiet 1) m^3/h	verbruik m^3	opmerking
<u>tankinhoud I (vulling 3/2/1986)</u>					
3/2	28/2	600	0,25	150	reparatie verwarming
28/2		4,3	12	51,6	proef
28/2	5/3	115,7	0,25	28,9	-
5/3	6/3	11,9	12	142,8	totale injectietijd
5/3	6/3	12,1	0,25	3	overige tijd
tank I				376	totaal
<u>tankinhoud II (vulling 7/3/1986)</u>					
10/3		1,25	12	15	start test
7/3	20/3	310,7	0,75	77,7	storing niveau schak.
20/3		2,3	12	27,6	test
20/3	26/3	144	0,25	36	storing niveau schak.
26/3	27/3	17,7	12	212,4	aan periode 70%
tank II				369	totaal
<u>tankinhoud III (vulling 1/4/1986)</u>					
1/4	2/4	26,3	12	315,6	continu test
tank III				315,6	totaal

1) opgegeven debiet bij continu gebruik $12 \text{ m}^3/\text{h}$ (zie paragraaf 3) opgegeven debiet bij niet gebruik $0,21 \text{ m}^3/\text{h}$ vgl. paragraaf 2; eigen waarneming $0,25 \text{ m}^3/\text{h}$

De tankinhoud bedraagt 636 l vloeibare stikstof; dit komt overeen met 420 m^3 stikstof bij 0°C en $\frac{1}{2}$ bar. Uit de resultaten in tabel 7 blijkt, dat uit een volle tank ca. 370 m^3 stikstof in gasvorm wordt verkregen. De laatste 12% van de stikstofvoorraad is niet bereikbaar vanwege de noodzaak om het verwarmings-element beneden het vloeistofpeil te houden. Bij de laatste meting is een onregelmatigheid opgetreden bij het vullen waardoor de tank waarschijnlijk niet vol is geweest. De tijdsduur van 26,3 uur is nauwkeurig gemeten en het debiet is eveneens vastgesteld (zie verder).

Uit de diverse keren, dat testen zijn gestart kunnen resultaten worden afgeleid. In tabel 8 is een overzicht gegeven van de bereikte gasconcentraties en de gasdebieten die hiervoor nodig zijn.

Tabel 8: De bereikte zuurstof- en kooldioxydeconcentraties bij een ingestelde waarde voor CO₂ van 3%

meting	duur uur	relatieve insp.tijd	conc. start	conc. einde	gas	gevolgtrekking
28/2	4,5	100%	20,8	7,8	O ₂	13,9 m ³ /h N ₂ injectie
28/2	4,5	100	0	1,8	CO ₂	(1,62/12) x 4,5 → 3% CO ₂ /N ₂ ¹⁾
5/3	16	44	6,6	6,6	O ₂	stationair 6,6-6,9% ²⁾
5/3	16	44	0,7	1,8	CO ₂	(0,145/0,44) x 12 = 2,7% CO ₂ /N ₂ ³⁾
10/3	1,25	100	20,8	16,3	O ₂	11,8 m ³ /h N ₂ injectie
26/3	21,5	70	3,3	-	O ₂	stationair 2,6-3,6% ⁴⁾
17/3	17	70	1,8	2,5	CO ₂	(0,18/0,7) x 12 = 2,1% ⁵⁾
1/4	26,3	100	2,8	-	O ₂	stationair 2,8-3%
1/4	26,3	100	0,7	2,8	CO ₂	oplopend ⁶⁾

1) CO₂-inspuiting volgens meting 3,2 kg = 1,62 m³ in 4,5 uur

2) O₂-instelwaarden 6,5% ondergrens en 7,5% bovengrens

3) CO₂-inspuiting volgens meting 5,7 kg in 20 uur → 0,145 m³/h

4) O₂-instelwaarden 2,5% en 3,5%

5) CO₂-inspuiting volgens meting 6,1 kg in 17 uur → 0,18 m³/h

6) CO₂-inspuiting volgens meting 14,1 kg in 21,6 uur → 0,33 m³/h en 2,6 kg in 4,6 uur → 0,28 m³/h

Uit de meting van 28/2 blijkt, dat de zuurstofconcentratie na 4,5 uur inspuiten van stikstof is gedaald tot 7,8%. Met behulp van balansen (appendix 1) kan worden berekend, dat de stikstofinjectie ca. 13,9 m³/h heeft bedragen. Dit getal is door meeton nauwkeurigheden hoger dan de opgegeven waarde (paragraaf 2) van 12 m³/h. Tevens kan worden berekend, dat na ca. 2,5 h een concentratie van ca. 5% zou worden bereikt en dat hier ongeveer 110 m³ stikstof voor nodig is (in een lege container).

Uit de meting van het gewicht van de CO₂-fles, voor en na de testperiode, kan de verhouding van de volumestromen worden gevonden. Deze verhouding van de CO₂- en stikstofstromen bedraagt 0,021-0,03 bij een ingestelde waarden van 3% CO₂. De CO₂-concentratie is dus lager dan de ingestelde waarde.

De metingen op 5/3 geven aan dat de zuurstofregeling in principe nauwkeurig kan werken, waarbij de regeling precies op de ingestelde grenzen schakelt. De werking van de mengregeling voor CO₂ wordt nogmaals bevestigd; het CO₂-niveau blijft met een kleine afwijking onder de ingestelde waarde in de lege container. Op 10/3 wordt opnieuw gestart, waarna storing optreedt; het berekende stikstof-debiet komt hier op 11,8 m³/h. De gegevens voor deze waarde zijn nauwkeurig gemeten, beter dan op 28/2.

De meting op 26/3 toont eveneens aan, dat de zuurstofregeling nauwkeurig kan functioneren. Bij ingestelde grenswaarden van 3,5 en 2,5% blijft de concentratie tussen 2,6 en 3,6%. Gedurende 70% van de tijd wordt stikstof ingespoten om deze

concentratie te handhaven. Dit betekent, dat er dus ca. $0,7 \times 12 \text{ m}^3/\text{h} = 8,4 \text{ m}^3/\text{h}$ stikstof wordt ingespoten om deze concentratie te handhaven. Tijdens de laatste metingen van 1/4 is continu ingespoten, omdat de zuurstofmeter niet werkte. Het zuurstofpercentage blijft op 2,8% door de toegenomen lekkage.

4.5 Overzicht van metingen en storingen

<u>Datum</u>	<u>Toelichting</u>
30/1-31/1	lekmetingen, circulatiemetingen, N_2 tank gevuld
3/2	verwarming N_2 -tank verbrand; storing
28/2	start test, zuurstofmeter functioneert niet, O_2 -sensormembraan aangetast, slecht contact in sensor, sensor is moeilijk toegankelijk en op slechte plaats gemonteerd.
	Urentellers O_2 en CO_2 werken niet
5/3 - 8/3	na reparatie, diverse metingen bij 6,5% O_2 , lektesten met C_2H_4
17/3 - 8/3	N_2 -tank gevuld; kraan van vulleiding gebroken, diverse metingen van lekkage
10/3	start duurproef; storing na 1,25 uur
	niveauschakelaar van stikstoftank kapot
20/3 -26/3	reparatie en vervanging van schakelaar
26/3 -27/3	metingen
1/4	N_2 -tank gevuld
1/4 - 2/4	start duurproef; constatering, dat lekkage veel hoger is geworden en dat de zuurstofmeter op drift is.
	Deze wijst 26-30% aan, sensormembraan is weer aangetast
4/4 -11/4	diverse lekmetingen uitgevoerd vanwege resultaat 1/4.

5. EVALUATIE

5.1 De werking van het CA-systeem in de lege container; relatie lekkage en stikstofverbruik

De resultaten uit de diverse metingen kunnen worden gerelateerd om de werking van het gasregelsysteem te doorgronden en te beoordelen. Dit is ondermeer belangrijk om het stikstofverbruik te beoordelen. In het manual wordt gesteld, dat de stikstoftank van 636 l voldoende zou zijn voor 30 dagen transport. Een vraag zou kunnen luiden aan welke voorwaarden moeten worden voldaan om dit te bereiken.

Zowel uit een aantal gegevens als uit diverse metingen blijkt, dat de stikstofinjectie maximaal $12 \text{ m}^3/\text{h}$ bedraagt. Dit wordt bepaald door het verwarmingsvermogen in de tank.

Met een vermogen van 800 W kan $14,4 \text{ kg N}_2/\text{h}$ worden verdampt, hetgeen overeenkomt met $12 \text{ m}^3/\text{h}$ bij 0°C .

Uit de lekmetingen komt naar voren, dat de lekkage aanvankelijk ca. $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ bedroeg, later ca. $3,7 \text{ m}^3/\text{h}$ en tenslotte ca. $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ met ingeschakelde koelmachine, zonder stikstofinjectie en op diverse wijzen gemeten.

Tijdens het inspuiten van stikstof worden de omstandigheden van een lekttest met overdruk bereikt, want er wordt immers 12 m^3 stikstof per uur ingespoten. Dus de

lekkage van omgevingslucht is veel geringer tijdens inspuiten. Een voorbeeld: de tracergasmeting met N_2 -injectie met een relatieve inspuittijd geeft een totale ingaande gasstroom van $7,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Van deze gasstroom maakt de stikstof deel uit nl. 44% van $12 \text{ m}^3/\text{h}$ is $5,28 \text{ m}^3/\text{h}$. In de overige periode bedraagt de lekkage ca. $3,7 \text{ m}^3/\text{h} \times 56\% = 2,1 \text{ m}^3/\text{h}$. De som van $5,28 + 2,1 = 7,38 \text{ m}^3/\text{h}$, waaruit blijkt, dat het resultaat van de tracergasmeting zeer goed deze analyse bevestigt.

In appendix 2 is met behulp van de zuurstofbalans en door definitie van twee niveaus van de lekstroom de volgende vergelijking gevonden

$$\phi_N = \frac{\phi_{lz}}{(O_2/(20,8-O_2) + \phi_{lz}/\phi_{NMAX} - (\phi_{ls}/\phi_{NMAX}))}$$

waarin: ϕ_{lz} = lekstroom zonder stikstofinspuiting = $3,7 \text{ m}^3/\text{h}$
 ϕ_{ls} = lekstroom met inspuiting
 O_2 = zuurstofconcentratie
 ϕ_{NMAX} = maximale stikstofdebiet = $12 \text{ m}^3/\text{h}$
 ϕ_N = gemiddelde stikstofdebiet

Voor het bovenstaande voorbeeld wordt $\phi_{ls} = 0,86 \text{ m}^3/\text{h}$ gevonden. Deze bevindingen zijn ook van toepassing op de meting van 26/3.

Het laagste bereikbare zuurstofpercentage bedraagt volgens de bovenstaande vergelijking $1,4\%$ bij continu inspuiten, bij een lek van $0,86 \text{ m}^3/\text{h}$.

Het stikstofverbruik kan afhankelijk van de zuurstofconcentratie bij diverse lekstromen worden afgelezen uit fig. 2.

Zou men 30 dagen met een tankvulling willen doen, dan mag de lekkage niet meer dan $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ bedragen (ϕ_{ls}) bij een zuurstofpercentage van 3% in een container zonder produkt en nadat de container op concentratie is gebracht.

Dit volgt uit de zuurstofbalans:

$$\phi_l = \frac{O_2 \phi_N}{20,8 - O_2} = \frac{3 \times 0,51}{20,8 - 3} = 0,09 \text{ m}^3/\text{h}$$

waarbij $\phi_N = 370 \text{ m}^3$ (tank)/ $30,24 = 0,51 \text{ m}^3/\text{h}$. Dat wil dus zeggen, dat bij een constante inspuiting van $0,51 \text{ m}^3/\text{h}$ en met één tankvulling een gelijktijdige lekkage van $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ een periode van 30 dagen kan worden gewerkt.

Indien dezelfde tank wordt gebruikt om de concentratie te bereiken, kost dit 105 m^3 stikstof bij een lege container, er blijft nu $370-105 \text{ m}^3$ stikstof over, zodat de lekkage moet dalen tot $0,06 \text{ m}^3/\text{h}$.

De CO_2 -regeling is een eenvoudige mengregeling volgens de gegevens en de metingen. De instelling (I) is gelijk aan de mengverhouding: $\phi_{CO_2}/\phi_{N_2} = 1$ hiervoor kan worden afgeleid uit de balansen.

$$CCO_2 = \frac{I}{I + 1 + (O_2 / (0,208 - O_2))}$$

waarin I = instelling CO_2 b.v. 0,03
 O_2 = zuurstofconcentratie
 CCO_2 = bereikte CO_2 -concentratie

Het resultaat is, dat in een container zonder levend produkt altijd een te lage concentratie zal ontstaan (zie fig. 3).

5.2 De werking van het CA-systeem met levende produkten

Indien de container wordt geladen met levende produkten, dan moet rekening gehouden worden met twee effecten:

1. Het volume lucht in de container wordt kleiner, zodat de ruimte met minder gastoevoer op een bepaalde samenstelling wordt gebracht. De benodigde hoeveelheid gas is evenredig met het luchtvolume. In het voertuig kan ca. 15.000 kg tomaten worden geladen; deze lading heeft een netto luchtvolume van ca. 15 m³ (dichtheid van produkt = 1000 kg/m³) plus 10% verpakking is 17 m³. De benodigde hoeveelheid stikstof voor het op concentratie brengen, wordt dan 70% ((56-17)/56 = 0,69).
2. Tuinbouwprodukten en andere levende produkten kennen een zogenaamde ademhaling of een metabolisme. Door de zuurstofconsumptie en de kooldioxyde-afgifte van het produkt wordt de gassamenstelling in de ruimte direct door het produkt beïnvloed.

Uit de stationaire balansen volgt:

$$\phi_1 = \frac{O_2 \cdot \phi_{CO_2} + a \cdot O_2 + a \cdot CO_2}{0,21 \cdot CO_2} \quad (1) \text{ en}$$

$$\phi_{N_2} = \frac{\phi_{CO_2} + a}{CO_2} - \phi_1 - \phi_{CO_2} \quad (2)$$

Zodat zonder CO_2 -toevoer van het systeem ($\phi_{CO_2} = 0$) geldt

$$\phi_1 = \frac{a(O_2 + CO_2)}{0,21 \cdot CO_2}$$

waar a = O_2 -consumptie m³/h = CO_2 -afgifte

$$\phi_{N_2} = \frac{a}{CO_2} - \phi_1$$

De vergelijkingen zijn weergegeven in fig. 4; twee lijnenbundels geven de gemiddelde lekkage en de stikstofstroom gedeeld door de ademhaling aan, die nodig zijn voor een bepaalde zuurstofconcentratie en kooldioxydeconcentratie.

De ademhaling van het produkt is uiteraard produktafhankelijk en kan gemakkelijk variëren van 20 W/ton tot 200 W/ton (= 3,6-36 l O₂/h.ton) indien de ademhalingscoëfficiënt gelijk is aan 1. Dit is voor 15 ton produkt $a = 0,054 \text{ m}^3/\text{h}$ tot $0,54 \text{ m}^3/\text{h}$.

Bij een produkt, dat een ademhalingsactiviteit van $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ O₂/CO₂ bij 3% O₂ en 3% CO₂ is dus een lekstroom van ca. $10 \times 0,2 = 2 \text{ m}^3/\text{h}$ nodig en een stikstofdebiet van ca. $24 \times 0,2 = 4,8 \text{ m}^3/\text{h}$.

Is echter de lekdichtheid beter, dus de lek kleiner, bijvoorbeeld $1 \text{ m}^3/\text{h}$ dan ontstaat 20% CO₂ en 1% O₂, terwijl geen stikstof wordt gebruikt (behalve de verwaarloosde tanklekkage). Het systeem constateert het oplopen van CO₂ niet (geen meting), het systeem constateert het dalen van O₂ wel, doch kan slechts de stikstoftoevoer sluiten.

Ook kan met de bovenstaande vergelijkingen het effect van een grotere lekkage worden berekend. Een grotere lekkage bijvoorbeeld $3 \text{ m}^3/\text{h}$ lucht uit de omgeving leidt tot 1,4% CO₂, een stikstofdebiet van $11,3 \text{ m}^3/\text{h}$, waarbij het zuurstofpercentage op 3% blijft gehandhaafd.

Bovenstaande voorbeelden gelden zonder CO₂-toevoer door het systeem. Indien het systeem op 3% CO₂ staat ingesteld en dus circa 3% CO₂ de stikstofstroom toevoegt kan met behulp van vgl. 1 en 2 in deze paragraaf de luchtsamenstelling worden bepaald (zie tabel 9).

Tabel 9: Enkele voorbeelden van berekende CO₂-concentraties afhankelijk van luchtlekkage en produktactiviteit bij een instelling van 3% O₂ en 3% CO₂

lekdebiet	instelling		ber. stikstof	berekend	concentratie
	O ₂ %	CO ₂ %	debiet m^3/h	O ₂ %	CO ₂ %
<u>produktactiviteit $a = 0,2 \text{ m}^3/\text{h}$</u>					
3	3	3	11	3	3,7
2	3	3	5	3	4,9
1	3	3	-	1	20
<u>produktactiviteit $a = 0,02 \text{ m}^3/\text{h}$</u>					
3	3	3	17	4 ¹⁾	2,5
2	3	3	11	3	2,6
1	3	3	5	3	2,8

1) maximum stikstofdebiet = $12 \text{ m}^3/\text{h}$

De berekeningen in deze paragraaf hebben betrekking op een continu regelend systeem en rekenen met een constante, gemiddelde luchtlek per tijdseenheid. Met de opzet van paragraaf 5.1 (blz ..) kan een vergelijking worden ontwikkeld, waarin onderscheid gemaakt wordt tussen de luchtlekkage tijdens inspuiten en zonder inspuiten en waarin tevens de produktademhaling is verwerkt (afleiding in App. 2):

$$\phi_N = \frac{\phi_{1z} - a/(0,208-O_2)}{O_2/(0,208-O_2) + (\phi_{1z}/\phi_{NMAX}) - (\phi_{1s}/\phi_{NMAX})}$$

In fig. 5 is met behulp van deze vergelijking aangegeven de invloed van het ademhalingsniveau op het stikstofverbruik. De lekkage in deze berekening is gebaseerd op de metingen in maart 1986. Het ademhalingsniveau heeft zowel invloed op het stikstofverbruik als op het bereikbare zuurstofniveau.

In fig. 6 is met behulp van de bovenstaande vergelijking het verband tussen het gemiddelde stikstofverbruik en het maximale stikstofdebiet gegeven. Een lager maximaal stikstofdebiet betekent een lagere lekkage en dus lager gemiddeld stikstofverbruik. Indien de verwarming in de tank dus voortdurend geregeld zou worden, nam het stikstofverbruik af.

Uiteraard betekent een lagere maximale stikstofstroom, dat de instationaire periode veel langer duurt. De tijd voor het op concentratie brengen van de container hangt rechtevenredig samen met de maximale stikstofstroom.

5.3 Evaluatie van de proeven met produkt

Bewerking van de metingen van Harmsen en De Groot (paragraaf 3) op de voorgaande wijze levert het resultaat in tabel 10. Hoewel een aantal gegevens zoals het stikstofverbruik en de CO₂-concentratie onvoldoende kunnen worden geverifieerd,

Tabel 10: De berekende lucht lekkage en CO₂-concentratie voor de experimenten met lading

produkt		tomaten	extrapolatie	paprika
massa	kg	5000	15000	10000
volume produkt	m ³	5	15	20
volume verpakking	m ³	1	2	2
ingestelde zuurstof	%	4	4	8
stikstofverbruik instationair	m ³	95	74	35
stikstoftotaal - instationair	m ³	700		320
stikstofverbruik stationair	m ³ /h	1,9	1,1	1,2
ademhaling produkt	W/ton	24	24	60
ademhaling lading	m ³ /h	0,025	0,075	0,1
berekende CO ₂ -conc.	%	1	4,4	5
berekende luchtlek	m ³ /h	0,6	0,6	1

zijn de resultaten in de tabel zeer interessant. De berekende gemiddelde lucht-lekkage, die hier gevonden wordt, bedraagt 0,6 m³/h resp. 1 m³/h. De container was destijds dus beduidend minder lek.

Uit de berekening blijkt, dat ca. 5% CO₂ in de container met paprika's aanwezig moet zijn geweest, hoewel hoogstens 1% is ingesteld.

De metingen van de werkelijke gasconcentraties ontbreken helaas. Een kleinere lucht lekkage bijvoorbeeld door een lagere zuurstofinstelling zou tot zeer hoog

oplopen van de CO_2 -concentratie hebben geleid in de paprikaproef. De produktactiviteit kent wel enige terugkoppeling tussen een verhoogde CO_2 -concentratie en de ademhalingsintensiteit, doch zeer hoge CO_2 -concentraties en CO_2 -bederf zijn niet uitgesloten.

5.4 Algemene opmerkingen over bijzondere luchtsamenstelling

Het gehele proces van klimatisering van produkten onder een bijzondere luchtsamenstelling overziende, kan men tot verschillende concepten komen. Tot nu toe is de Controlled Atmosphere of beheerste luchtsamenstelling beschouwd, waarbij de zuurstofconcentraties en kooldioxydeconcentraties samen geen 21% behoeven te zijn. De Modified Atmosphere of afwijkende luchtsamenstelling is het principe, waarbij door afsluiting van het produkt een afwijkende samenstelling ontstaat. In dit geval is de som van de zuurstof- en kooldioxydeconcentratie gelijk aan 21%, althans indien het ademhalingsproces niet verandert (ademhalingscoëfficiënt = 1) en er geen bijzondere gassamenstelling in de ruimte wordt gebracht. In de eenvoudigste vorm bestaat dit (MA) systeem uit een geringe lekkage, de volgende stap is een geregelde lekkage met behulp van meet- en regelapparatuur. Het is duidelijk, dat deze afwijkende luchtsamenstelling minder gecompliceerde is, maar vaak ook minder effectief. Bij de aanvang zal met een doorspoeling met gas van buitenaf kunnen worden gestart. De MA-toepassing zonder regeling is uiteraard niet zonder gevaar voor verstikking.

Modified Atmosphere zou ook een systeem kunnen zijn met een bepaalde lek en een bepaalde stikstoftoevoer, dus zonder meetapparatuur. Een zekere mate van zelfregeling is in het systeem opgenomen, doordat een grotere lekkage een vermindering van het effect oplevert en doordat de produktactiviteit afneemt bij lagere zuurstofconcentraties en hogere kooldioxydeconcentraties. Optimaal kan dit systeem nooit zijn omdat men toch een zekere veilige marge moet aanhouden en omdat lekkage moeilijk te beheersen is.

Het CA-systeem is de beheersing van de luchtsamenstelling, dit betekent toepassing van meet- en regelapparatuur om de zuurstofconcentratie te regelen. De lekkage kan echter nog niet geminimaliseerd worden, omdat te lage zuurstofniveaus reeds betekenen, dat de kooldioxydeconcentratie onaanvaardbaar hoog is. Als volgende stap is de onderhavige container met een menggassturing voor kooldioxyde uitgerust. Normaliter heeft men echter voor tuïbnouwprodukten behoefte aan verwijdering van CO_2 . Een CO_2 -meet- en regelapparaat met ingreep in de luchtverversing (of gecontroleerde lekkage) is veiliger en geeft meer mogelijkheden om de ongecontroleerde lekkage te minimaliseren. Door deze verbetering wordt tevens het stikstofverbruik verlaagd. Verder kan een ongeregelde CO_2 -scrubber (CO_2 -absorptie-apparaat) worden toegepast bijvoorbeeld in de vorm van zakken met kalk.

Verbetering van de scrubber tot een regelbaar absorptie-apparaat betekent, dat de CO_2 -concentratie met de scrubber kan worden geregeld terwijl de zuurstof kan worden geregeld met de gecontroleerde lekkage. Het stikstofverbruik wordt nu geminimaliseerd door minimalisering van de lek. Met uitzondering van het op concentratie brengen van de stikstof geheel gemist worden, indien de lekkage laag genoeg is (systeem 7 in tabel 11).

Tabel 11: Overzicht van enkele methoden van transport en bewaring onder een bijzondere luchtsamenstelling

MA = Modified Atmosphere kan omschreven worden als een systeem met afwijkende luchtsamenstelling dat niet volledig wordt geregeld en beheerst

CA = Controlled Atmosphere kan worden gedefinieerd als een systeem met beheerste luchtsamenstelling. De zuurstof- en kooldioxideconcentraties worden op een bepaald en onafhankelijk niveau gehandhaafd.

<u>Omschrijving systeem</u>	<u>type</u>
1. One shot systeem, inspuiting van menggas bij aanvang van transport (Tectrol), eventueel toepassing kalkscrubber	MA
2. Toepassing voertuig met geringe lekkage	MA
3. Toepassing van voertuig met zuurstof en/of kooldioxideregelaars met de ventilatie als actief orgaan (zuurstof + kooldioxyde = 21%)	MA
4. Systeem met geregelde zuurstofconcentratie door stikstofinspuiting (grote lek is nodig) CO ₂ is laag	CA (beperkt)
5. Systeem met geregelde zuurstofconcentratie door stikstofinspuiting met CO ₂ bijmenging (grote lek is nodig) Freshbox	CA
6. systeem met geregelde zuurstofconcentratie (actie stikstoftoevoer of ventilatie) en geregelde kooldioxydeconcentratie (actie CO ₂ -toevoer en ventilatie)	CA
7. Geregelde zuurstofconcentratie (actie lek of ventilatie) en geregelde kooldioxydeconcentratie	CA
8. Een bijzonder CA-systeem is het beheersen van de zuurstofdruk door vacuüm zuigen van de ruimte. In deze geventileerde CA-bewaring is bevochtiging noodzakelijk	CA

De stikstof voor dergelijke MA/CA-systemen kan op diverse wijzen worden verkregen, nl.:

- door aankoop van vloeibaar of samengeperste stikstof bij gespecialiseerde bedrijven, deze stikstof is uit lucht door afkoeling en distillatie verkregen.
- door een generator bijv. door een ammoniakraker.
- door een generator bestaande uit een brander.

Verder kan nog worden opgemerkt, dat de doorspoelsystemen 4 en 5 een geventileerde CA-bewaring betekenen, waarbij ook andere gassen, bijvoorbeeld ethyleen, wordt verwijderd. Een nadeel hierbij is, dat ook waterdamp wordt verwijderd, zodat de relatieve vochtigheid zal afnemen, hetgeen ongunstig is voor veel tuinbouwprodukten.

6. CONCLUSIE

1. Uit diverse metingen en testen is gebleken, dat de Freshbox container met CA-systeem niet voldoet aan een tweetal essentiële specificaties:
 - de luchtlekkage is een aantal malen groter, dan de opgegeven waarde en neemt voortdurend toe in de tijd

- het stikstofverbruik is door de grote luchtlekkage veel hoger, dan de opgegeven waarde. Dit maakt, dat de transporttijd met één vulling van de stikstoftank in het gunstigste geval met lading 11 dagen heeft bedragen (voorgaand onderzoek) en in het ongunstigste geval zonder lading 27 uur, terwijl de opgegeven transporttijd 30 dagen bedraagt.

De ontwerpspecificatie voor de luchtlekkage is te hoog om het opgegeven stikstofverbruik te verwezenlijken en is ook niet in het bijzonder op de CA-toepassing gericht.

2. Vermindering van de luchtlek leidt tot vermindering van het stikstofverbruik. Indien echter de luchtlekkage zodanig zou worden verminderd, dat het stikstofverbruik binnen de opgegeven norm van 30 dagen blijft, dan is verstikking van de meeste tuinbouwprodukten te verwachten door te hoge CO_2 -concentraties. Hieruit blijkt, dat het concept van het CA-systeem in deze container principieel onjuist is (men moet of een grote lek en een groot stikstofverbruik accepteren of met moet een meer geregeld systeem gebruiken).
3. Het gasmengsysteem voor bijmenging van kooldioxyde werkt redelijk in de lege container of in de container met grote lekkage. Indien de container wordt geladen met levend produkt, bestaat geen behoefte aan toevoeging van CO_2 (althans bij geringe lek) doch aan verwijdering. Een CO_2 -detectiesysteem en adsorptiesysteem is dus belangrijker, dan een toevoegingssysteem. Ook hier is sprake van een minder doordacht ontwerp.
4. Tijdens de metingen zijn diverse storingen opgetreden, die in feite het CA-systeem geheel buiten werking stelden.
Deze frequent optredende fouten in het CA-systeem en in de afdichtingen betekenen, dat het CA-systeem als geheel de kwalificatie onbetrouwbaar heeft.

Het ontwerp en de opzet van de Freshbox container met de bijbehorende documentatie getuigen niet van een technisch doordacht concept. Veel onjuistheden en misleidende vereenvoudigingen zijn in de handleiding opgenomen. Onvoldoende know how is in de regeling van de luchtsamenstelling ingebracht.

De mechanische koelinstallatie is een bestaande en courante installatie, die goed functioneert en verder niet in het bijzonder is onderzocht.

Aanbevelingen

De belangrijkste voorgestelde verbeteringen aan het systeem zijn:

- verbetering van het concept
- verlaging van de luchtlekkage
- verhoging van de betrouwbaarheid.

Het ontwerp kan worden veranderd in diverse richtingen, zoals boven omschreven; om een verantwoorde keuze te kunnen doen, dient een verder onderzoek plaats te vinden. Een meting en regeling van de CO_2 concentratie is een belangrijk onderdeel van dit onderzoek.

Luchtlekkage wordt uiteraard verminderd door betere afdichtingen, doch ook speciale maatregelen, zoals een extra scherm bij de deuren, een continu geregelde (modulerende) stikstofinspuiting in plaats van aan/uit-regeling zijn van belang.

APPENDIX 1

Zuurstofbalans

$$V \frac{d C_z}{dt} = - \phi_{uit} C_z + \phi_l C_{OMZ} - b \quad \text{zuurstofbalans}$$

$$\begin{aligned} \phi_{uit} &= a - b + \phi_k + \phi_l + \phi_N \\ a &= b \end{aligned} \quad \text{continuïteit}$$

Oplossing:

$$C_z = \left(C_o - \frac{\phi_l C_{OMZ} - b}{\phi_l + \phi_N + \phi_k} \right) e^{-\frac{\phi_k + \phi_N + \phi_l}{V} t} + \frac{\phi_l C_{OMZ} - b}{\phi_l + \phi_k + \phi_N}$$

$$\text{met } t \rightarrow 0 \quad C_z = \frac{\phi_l \cdot 0,208 - b}{\phi_l + \phi_k + \phi_N}$$

Kooldioxyde balans

$$V \frac{d C_k}{dt} = - \phi_{uit} \cdot C_k + \phi_l C_{OMK} + a + \phi_k$$

$$\begin{aligned} \phi_{uit} &= \phi_l + \phi_k + \phi_N + (a-b) \\ a &= b \end{aligned}$$

Oplossing:

$$C_k = \left(C_o - \frac{\phi_l C_{OMK} + a + \phi_k}{\phi_l + \phi_k + \phi_N} \right) e^{-\frac{\phi_l + \phi_k + \phi_N}{V} t} + \frac{\phi_l C_{OMK} + a + \phi_k}{\phi_l + \phi_k + \phi_N}$$

$$\text{met } t \rightarrow 0 \quad \text{en } C_{OMK} = 0$$

$$C_k = \frac{a + \phi_k}{\phi_l + \phi_k + \phi_N}$$

waarin:

C_z	$= O_2$	= zuurstofconcentratie (op $t=t$)	-
C_{OMZ}		zuurstofconcentratie in omgeving =	0,208
C_o		aanvang concentratie $t = 0$	
C_k	$= CO_2$	= kooldioxydeconcentratie op $t=t$	-
C_{OMK}		kooldioxydeconcentratie in omgeving =	0
a		kooldioxydeproduktie door produkt	m^3/h
b		zuurstofopname door produkt	m^3/h
ϕ_l		ingaande luchtlekdebiet	m^3/h
ϕ_k		ingaande kooldioxydedebiet	m^3/h
ϕ_N		ingaande stikstofdebiet	m^3/h
ϕ_{ls}		ingaande lekdebiet tijdens inspuiten	m^3/h
ϕ_{lz}		ingaande lekdebiet zonder stikstofinspuiting	m^3/h
t		tijd	h
V		volume luchtruimte in container	m^3
φ_1		netto lekstroom (intrede - uitrede = netto = lekmeterdebiet)	m^3/h

APPENDIX 2

Afleiding van het verband tussen stikstofverbruik per tijdseenheid bij aan/uit regeling van de stikstof flow

Zuurstofbalans

$$C_z = \frac{\phi_1 \cdot 0,208 - b}{\phi_1 + \phi_k + \phi_N} \quad (1)$$

$$\phi_1 = \phi_{1s} \cdot x + (1-x) \phi_{1z} \quad (2)$$

$$\text{waarin } x = \frac{\phi_N}{\phi_{NMAX}} = \text{relatieve inspuittijd} \quad (3)$$

Uit (1), (2) en (3) volgt met $\phi_k = 0$:

$$\phi_N = \frac{\phi_{1z} - \frac{b}{0,208 - C_z}}{C_z/(0,208 - C_z) + (\phi_{1z}/\phi_{NMAX}) - (\phi_{1s}/\phi_{NMAX})}$$

$b = a$ d.w.z. de zuurstofopname is gelijk aan de CO_2 -afgifte in m^3/h .

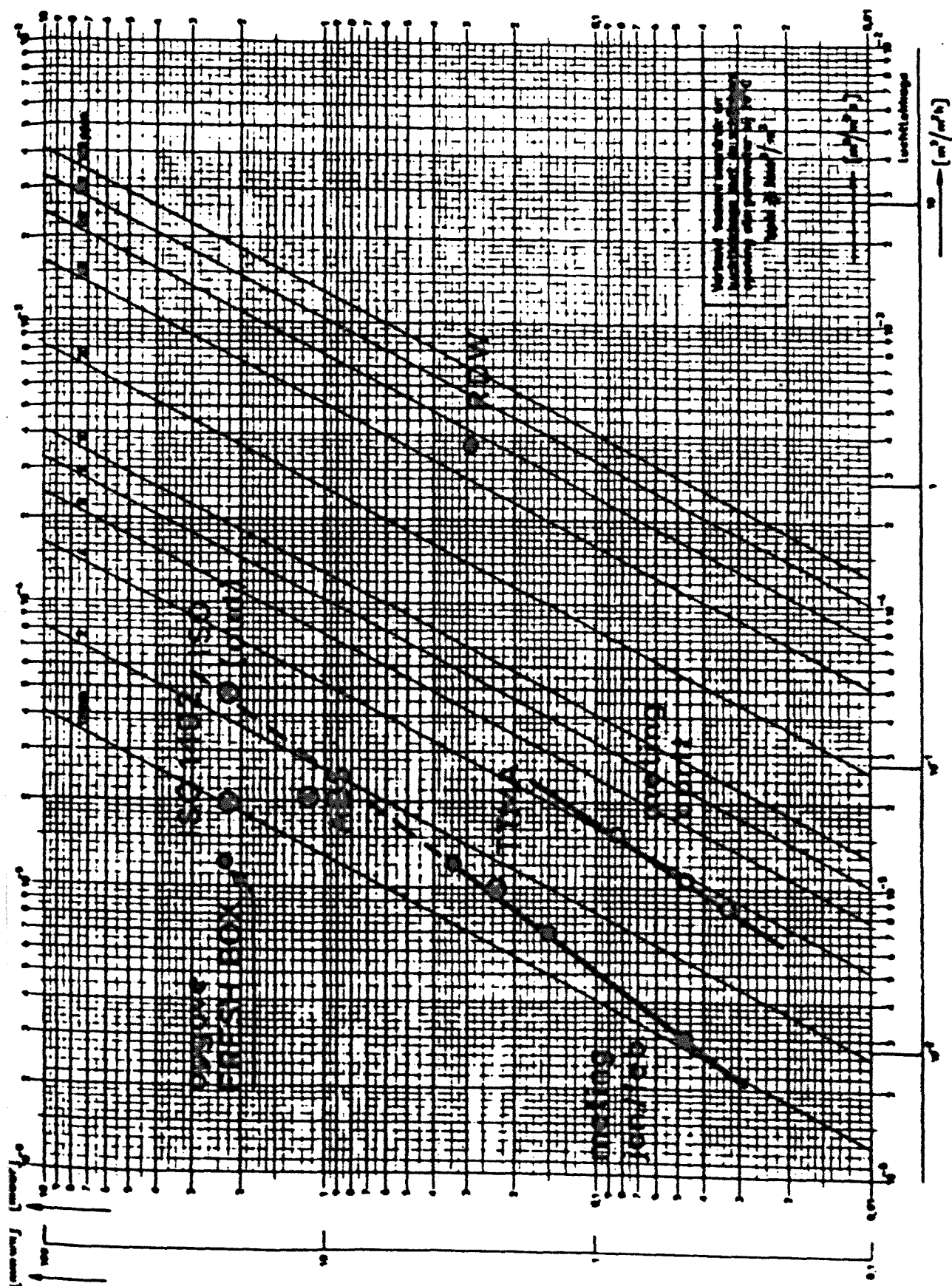


FIG. 1: Lekkarakteristieken uit overdructest en enkele kriteria voor lekkage

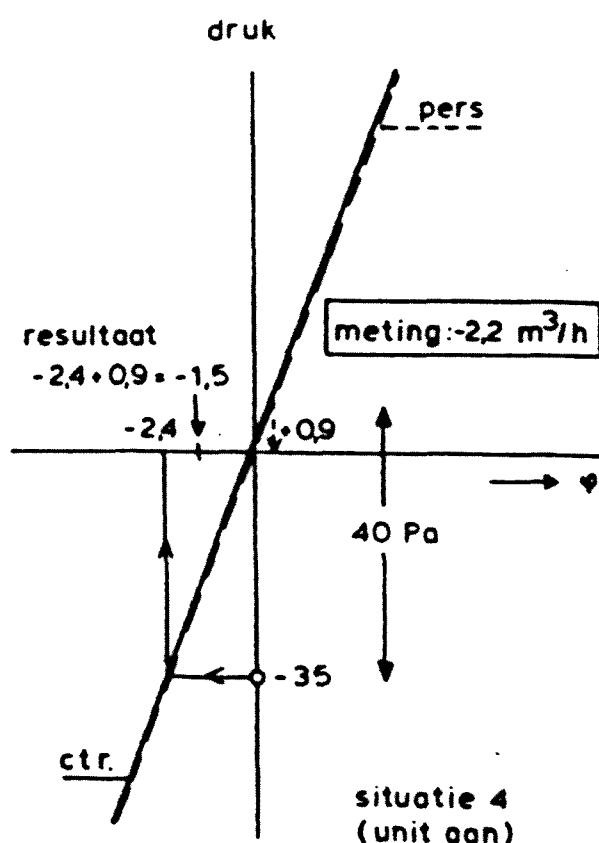
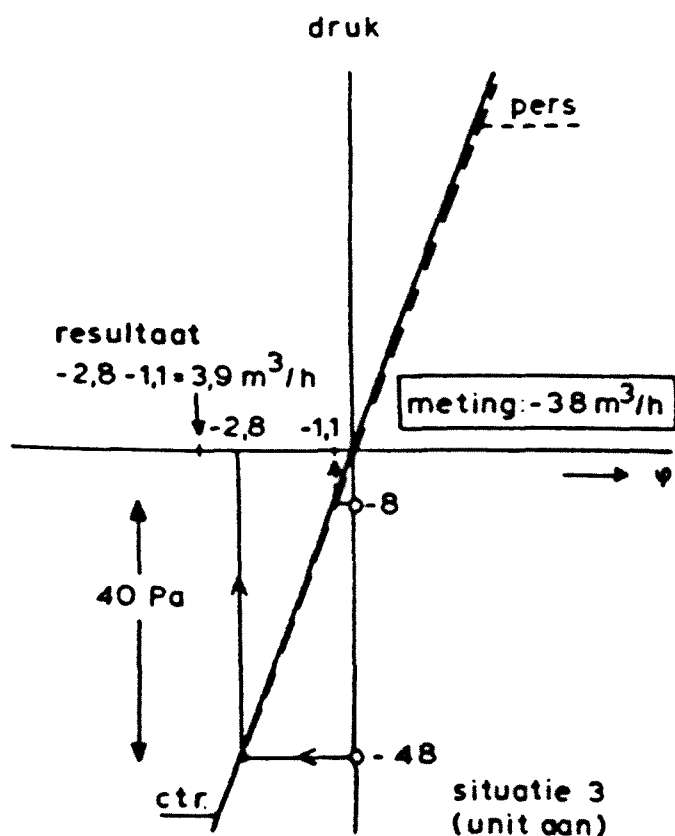
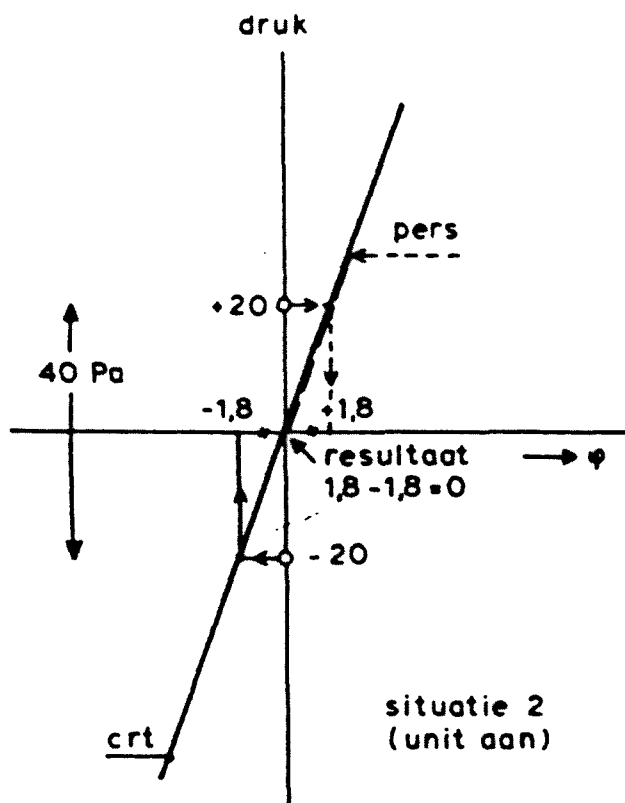
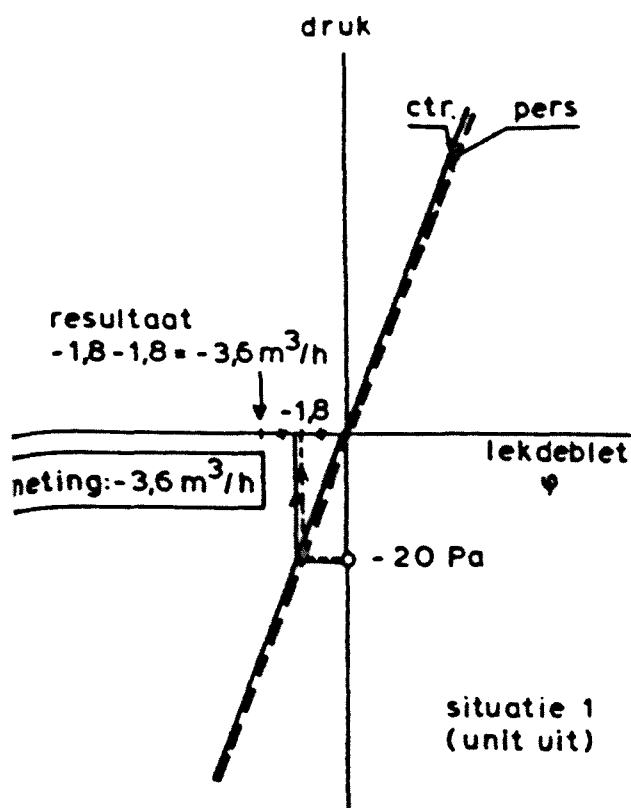


Fig. 1B: Schematisch overzicht van de lekkage in 4 situaties tijdens lekmetingen (karakteristieken verlopen in werkelijkheid volgens een kwadratische curve, doch zijn hier recht getekend)

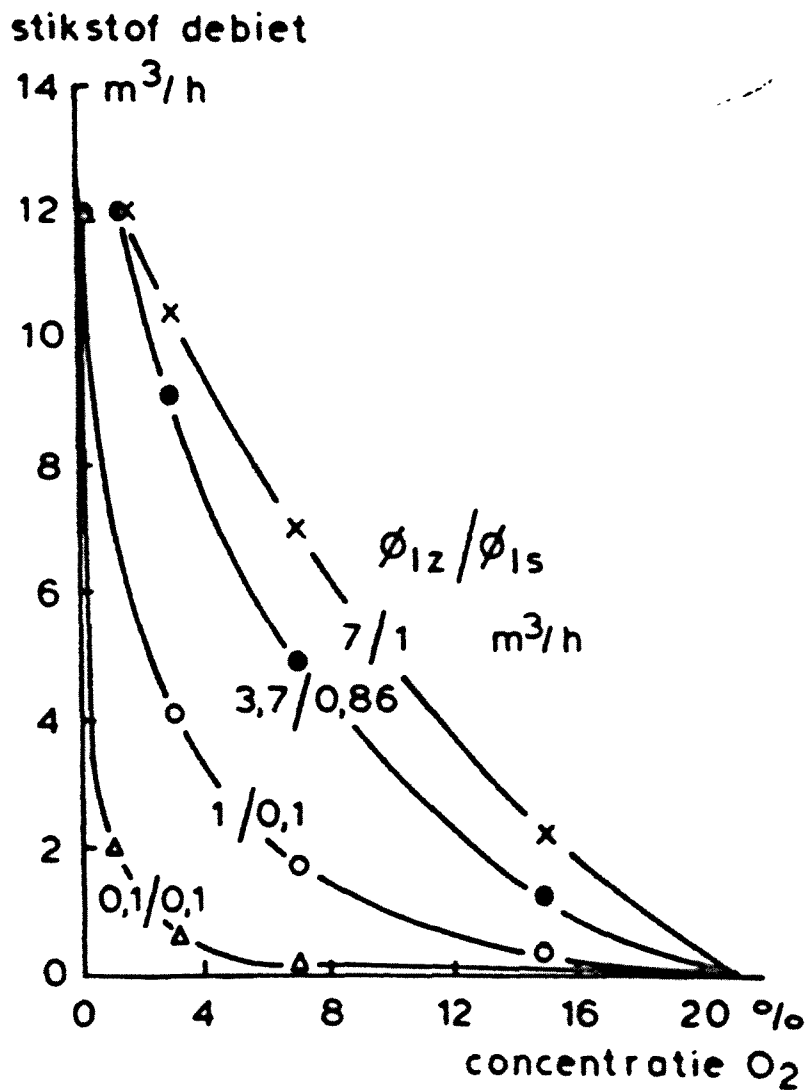


Fig. 2: Het berekende stikstofverbruik bij diverse waarden van de lekkage

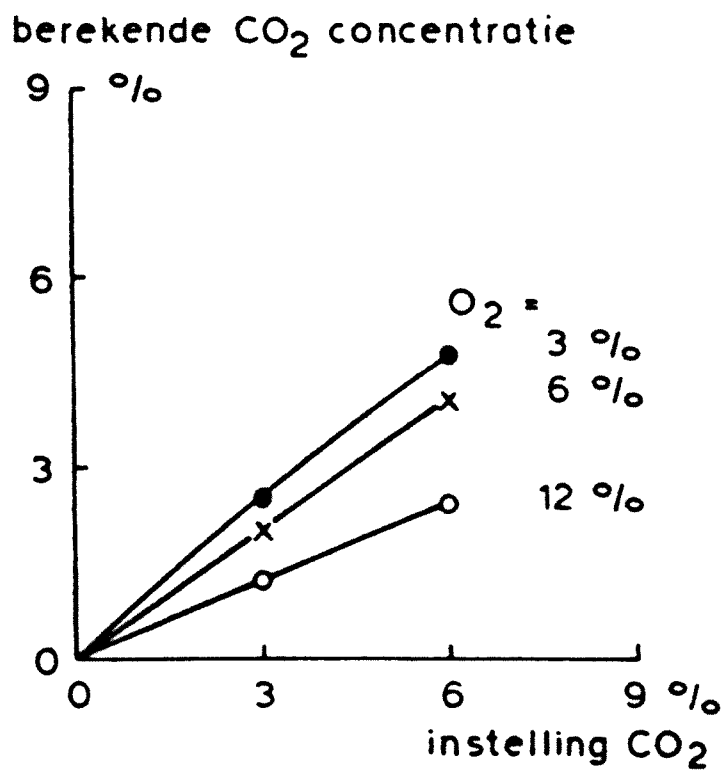


Fig. 3: De berekende kooldioxydeconcentratie op basis van de regeling in de lege container

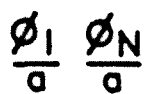


Fig. 4: De lekkage en het stikstofdebiet gedeeld door de produktiviteit als functie van de zuurstofconcentratie met de kooldioxydeconcentratie als parameter

O₂ concentratie (%)

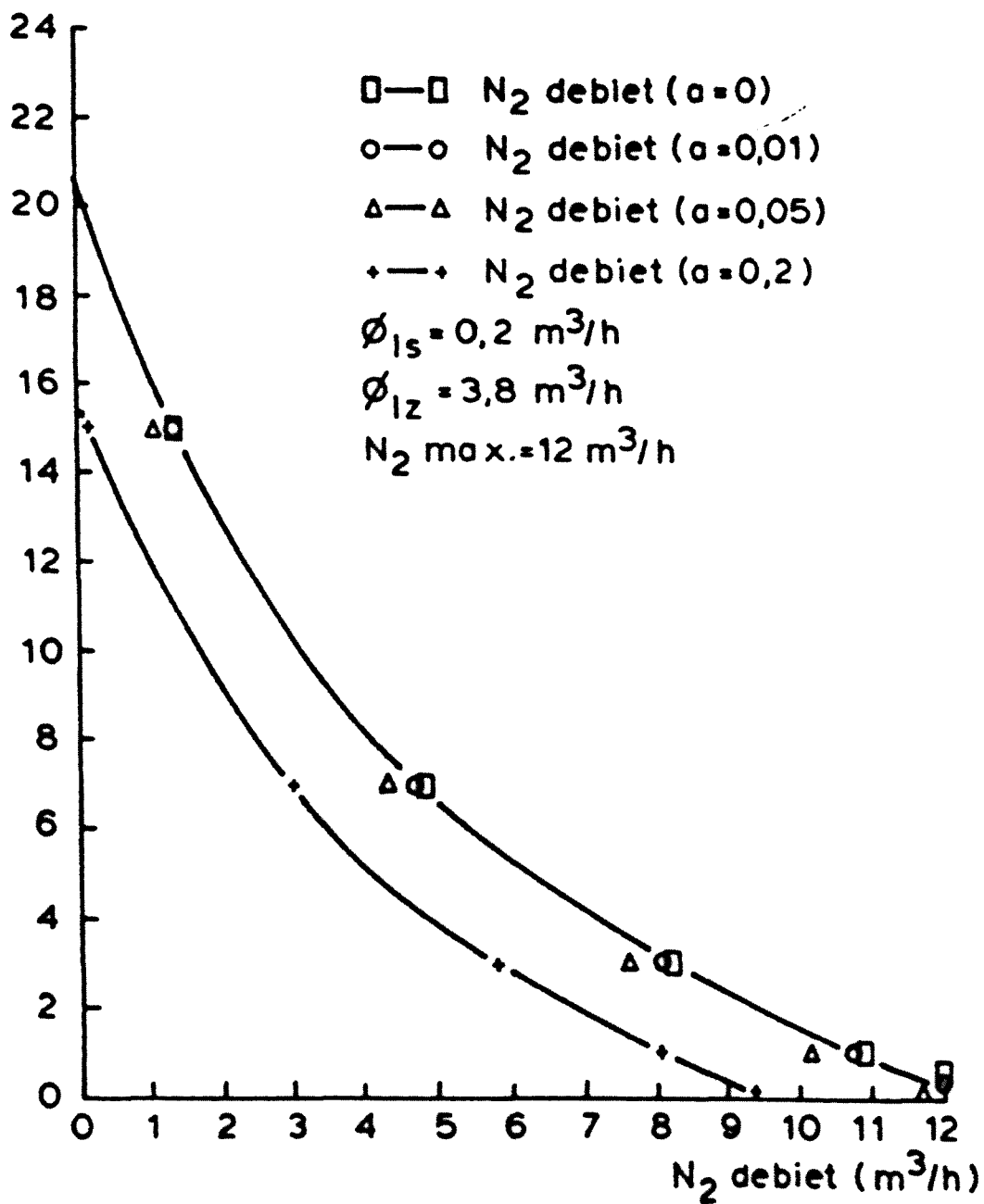


Fig. 5: Het berekende stikstofverbruik per uur bij diverse ademhalingsniveaus

O₂ concentratie (‰)

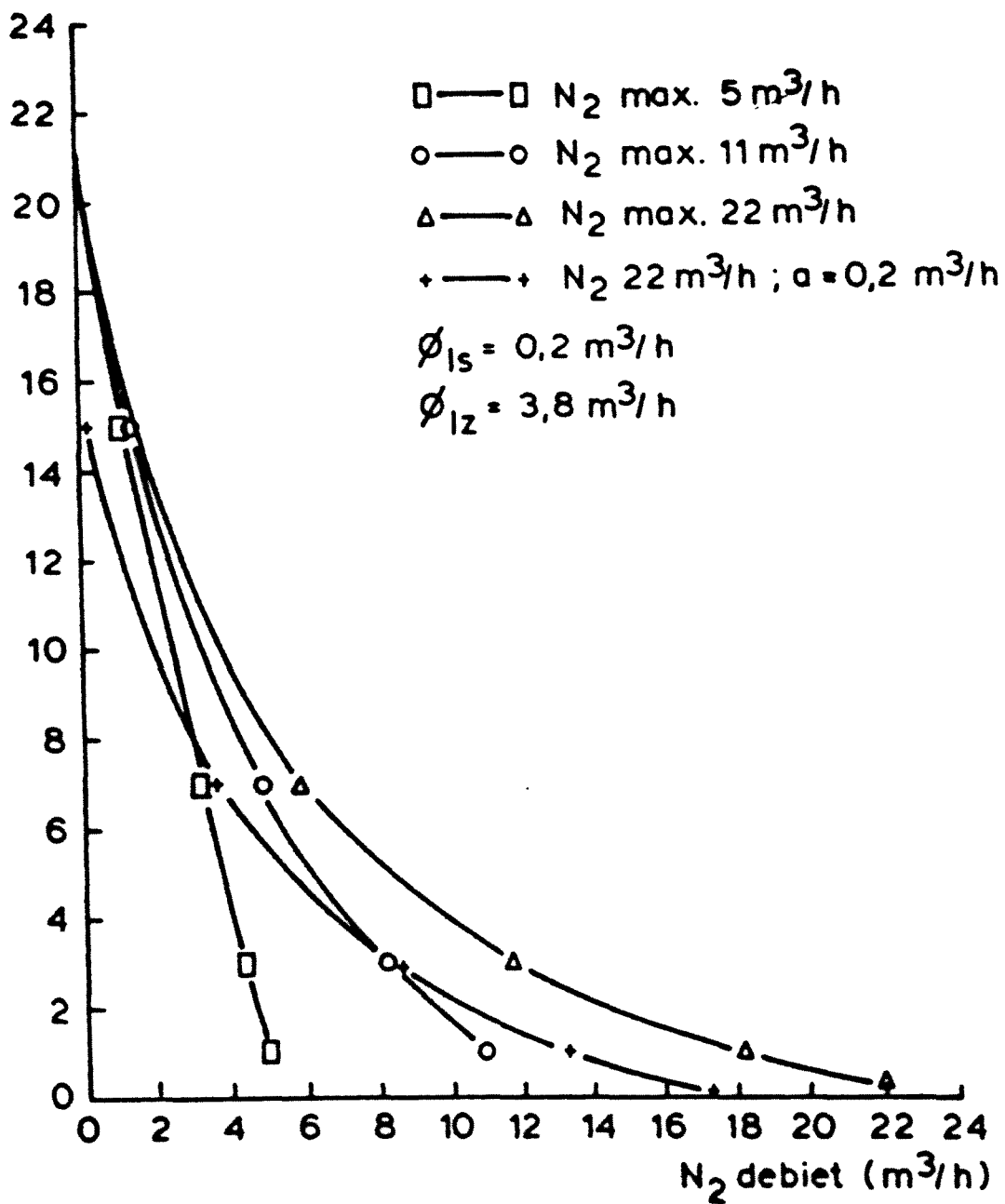


Fig. 6: Het berekende stikstofverbruik per uur bij diverse maximale stikstof-niveaus